

高等学校における教科指導の充実

理 科 物理領域

生徒の興味・関心を高める授業を目指して

〔電磁気学〕

栃木県総合教育センター

平成23年3月

## ま え が き

21世紀は、新しい知識・情報・技術が、政治・経済・文化をはじめ社会のあらゆる領域の基盤として飛躍的に重要性を増す、いわゆる「知識基盤社会」の時代であると言われていています。そのような時代を生きるために、確かな学力、豊かな心、健やかな体の調和を重視する「生きる力」をはぐくむことがますます重要になります。また、各種の調査からは、日本の児童生徒について、思考力・判断力・表現力、知識・技能の活用、学習意欲、学習習慣・生活習慣などで課題があると分析されました。このような状況を踏まえて、平成20年1月の中央教育審議会答申で学習指導要領の改訂の方向性が示され、平成21年3月に高等学校学習指導要領が告示されました。

平成22年12月に公表されたOECD生徒の学習到達度調査（PISA2009年）の結果においては、読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーのそれぞれで下位層が減少し、上位層が増加したことから、読解力を中心に日本の生徒の学力は改善傾向にあると考えられていますが、課題は依然として残されています。今後とも引き続き、基礎的・基本的な知識の習得や、問題解決のための思考力・判断力・表現力の育成に努めていくことが求められます。

栃木県総合教育センターでは、基礎・基本の確実な定着を図る教科指導の在り方について研究するとともに、その成果を普及することで生徒の学力の向上に資することを目的に、平成17年度から「高等学校における教科指導の充実に関する調査研究」を行ってきました。今年度は、昨年度に引き続き、「今回の学習指導要領の改訂の趣旨を踏まえるとともに、各種調査の結果から指摘されている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探る」ことに重点を置き、国語科、地理歴史科、数学科、理科、外国語科（英語）の各教科で調査研究に取り組みました。本冊子はその成果をまとめたものであり、教科指導を充実させる一助として、御活用いただければ幸いです。

最後に、調査研究を進めるにあたり、御協力いただきました研究協力委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成23年3月

栃木県総合教育センター所長

瓦 井 千 尋

# 目 次

研究の概要	1
事例1 観察実験「電圧計の構造」	4
事例2 生徒実験「非直線抵抗の特性」	10
事例3 生徒実験「コンデンサーの充電・放電」	16
事例4 演示実験「コインとばし」	26
事例5 演示実験「ロジェの振り子」	30

※本資料は、栃木県総合教育センターのホームページ「とちぎ学びの杜」内、「調査研究」と「教材研究のひろば」のコーナーにも掲載しています。

「とちぎ学びの杜」 <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>

## 研究の概要

### 1 調査研究の背景

平成21年3月に告示された学習指導要領の改訂においては、「OECD生徒の学習到達度調査（PISA調査）」など各種の調査から明らかになった、次のような課題が反映されている。

- ①思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題、知識・技能を活用する問題において、無答率が高いという課題が見られる。
- ②読解力に関しては成績分布の分散が拡大し、成績中位層が減り、低位層が増加している。
- ③家庭での学習時間の減少など、学習意欲、学習習慣・生活習慣に課題が見られる。
- ④自分への自信の欠如や自らの将来への不安、体力の低下といった課題が見られる。

特に、教科の指導においては、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させること、知識及び技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等を育成することが重視されている。その実現のためには、「習得・活用・探究」のバランスを取った学習活動の展開が重要であり、高等学校学習指導要領解説の総則では、次のように述べられている。

＜高等学校学習指導要領解説総則 第1章 総説 第2節 改訂の基本方針（抜粋）＞

- ②知識・技能の習得と思考力・判断力・表現力等の育成のバランスを重視すること。

確かな学力を育成するためには、基礎的・基本的な知識・技能を確実に習得させること、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむことの双方が重要であり、これらのバランスを重視する必要がある。

このため、各教科において基礎的・基本的な知識・技能の習得を重視するとともに、観察・実験やレポートの作成、論述など知識・技能の活用を図る学習活動を充実すること、さらに総合的な学習の時間を中心として行われる、教科等の枠を超えた横断的・総合的な課題について各教科等で習得した知識・技能を相互に関連付けながら解決するといった探究活動の質的な充実を図ることなどにより思考力・判断力・表現力等を育成することとしている。

また、これらの学習を通じて、その基盤となるのは言語に関する能力であり、国語科のみならず、各教科等においてその育成を重視している。さらに、学習意欲を向上させ、主体的に学習に取り組む態度を養うとともに、家庭との連携を図りながら、学習習慣を確立することを重視している。

これらのことを踏まえつつ、各種調査の結果から指摘されている課題の解決を図るための教科指導の在り方を探る調査研究に取り組んだ。

---

※本冊子においては、平成11年3月に告示された学習指導要領を「現行の学習指導要領」、平成21年3月に告示された学習指導要領を「新学習指導要領」として記す。

## 2 今回の研究について

平成20年1月の中央教育審議会答申において、学習指導要領改訂の基本的な考え方とともに、各教科の改善の基本的方針や主な改善事項が示された。その中で、理科の改善の基本方針としては、次のようなことが示された。

- (ア) 理科については、その課題を踏まえ、小・中・高等学校を通じ、発達の段階に応じて、子どもたちが知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもった観察・実験を行うことにより、科学的に調べる能力や態度を育てるとともに、科学的な認識の定着を図り、科学的な見方や考え方を養うことができるよう改善を図る。
- (イ) 理科の学習において基礎的・基本的な知識・技能は、実生活における活用や論理的な思考力の基盤として重要な意味をもっている。また、科学技術の進展などの中で、理数教育の国際的な通用性が一層問われている。このため、科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る方向で改善する。
- (ウ) 科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から、学年や発達の段階、指導内容に応じて、例えば、観察・実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動、探究的な学習活動を充実する方向で改善する。
- (エ) 科学的な知識や概念の定着を図り、科学的な見方や考え方を育成するため、観察・実験や自然体験、科学的な体験を一層充実する方向で改善する。
- (オ) 理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせ、科学への関心を高める観点から、実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する方向で改善を図る。また、持続可能な社会の構築が求められている状況に鑑み、理科についても、環境教育の充実を図る方向で改善する。  
(高等学校学習指導要領解説理科編理数編より)

この中で、特に「子どもたちに身に付けさせたい力・態度」と「そのための方策」に注目して、いくつかのキーワードを拾ってみると、下表のようになる。

	子どもたちに身に付けさせたい力・態度	そのための方策
(ア)	○知的好奇心や探究心 ○科学的に調べる能力や態度 ○科学的な認識、科学的な見方や考え方	●目的意識を持った観察・実験を行う
(イ)	○基礎的・基本的な知識・技能 ○実生活における活用、論理的な思考力	●小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る
(ウ)	○科学的な思考力・表現力	●観察・実験の結果を整理し考察する学習活動 ●科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動 ●探究的な学習活動
(エ)	○科学的な知識や概念 ○科学的な見方や考え方	●観察・実験や自然体験、科学的な体験を一層充実する
(オ)	○理科を学ぶことの意義や有用性を実感 ○科学への関心 ○持続可能な社会の構築	●実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する ●環境教育の充実を図る

表より、「観察・実験の重要性」と、それにもなつて「目的意識」、「結果を整理し考察する力」、「学んだことを活用し、説明・表現する力」などの重視が求められていることが分かる。今回の研究では、特に表中の(ア)、(ウ)、(エ)の各項目を意識しながら、〔電磁気学〕の分野における「生徒の興味・関心を高める授業」を目指して、次の5つの事例を紹介する。

- 事例1 観察実験「電圧計の構造」
- 事例2 生徒実験「非直線抵抗の特性」
- 事例3 生徒実験「コンデンサーの充電・放電」
- 事例4 演示実験「コインとばし」
- 事例5 演示実験「ロジェの振り子」

材料はできるだけ入手しやすいものを用いるようにし、内容的には生徒の興味をひきやすいものを選んだ。また、「生徒が自分で考え、説明・表現する」ということに力点を置いた。これらの事例が、今後の授業展開の参考となれば幸いである。

〈研究協力委員〉

栃木県立足利女子高等学校 教諭 鈴木裕之

〈研究委員〉

栃木県総合教育センター研修部 指導主事 岩瀬英二郎

## 事例 1 観察実験「電圧計の構造」

### 1 ねらい

身近な計測器である「電圧計」の構造を観察して、倍率器のしくみや配線と回路図の関係について考察させる。

### 2 準備

電圧計，精密ドライバー，テスター

### 3 手順

- (1) 電圧計の底面についているパネルを外し、内部の構造を調べ、回路図に表す。  
(底面のパネルを外さなくても、内部がよく見えるものもある。)
- (2) 電圧計の+端子（赤）と3V端子の間の抵抗をテスターで測る。このときの値を電圧計そのものの内部抵抗  $r_v$  と見なす。  
※このとき、テスターが流す電流によって、電圧計の針が少し振れることがある。電圧計を壊さないためにも極性に注意させたい。
- (3) (1)で描いた回路図を見ながら、3V端子－15V端子間および3V端子－300V端子間についている倍率器（抵抗）がそれぞれ何 $k\Omega$ になるかを予想する。
- (4) (3)で予想した抵抗の値と、テスターで実際に測定した値を比較する。



【図1 実験の様子】

4 結果 (22名の生徒が12グループに分かれて観察・実験を行った。)

(1) 生徒が描いた回路図の例

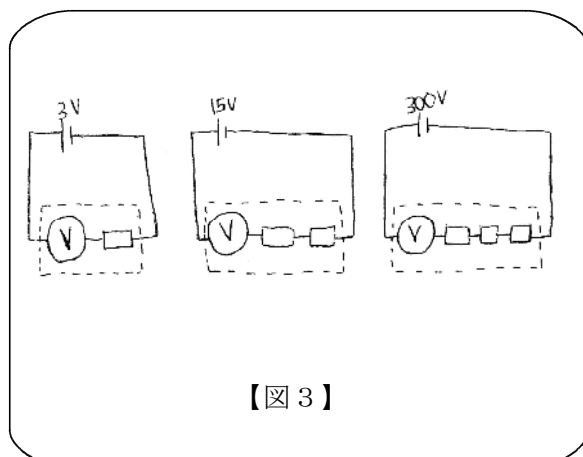
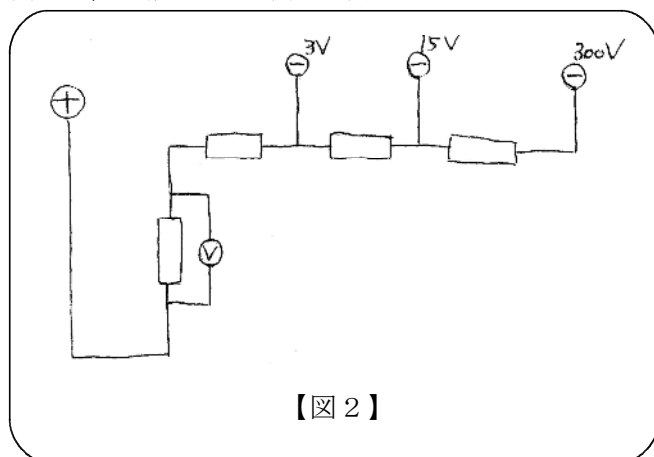


図2は、電圧計の内部を観察して、構造をそのまま回路図に表した例である。かなり細かい部分まで観察し、忠実に表現できている。一方、図3は倍率器の役割に注目して描いた例である。倍率器の原理についてはよく理解できている様子が分かるが、観察したものを回路図にそのまま表現するという点については達成できていない。

ただ観察させるだけでなく、実際に回路図を描かせることによって、生徒の観察力・表現力を確認することができた。

(2) 今回用いた電圧計の内部抵抗 (+端子-3V端子間の抵抗)  $r_v$  は、約  $2k\Omega$  であった。

(3) 倍率器の予想値と実測値

	内部抵抗	3V-15V間 [ $k\Omega$ ]		3V-300V間 [ $k\Omega$ ]		備考
	実測値 [ $k\Omega$ ]	予想値	実測値	予想値	実測値	
第1グループ	1.90	7.6	9.90*	188.1	198.9	※測定部分を間違えたと思われる。
第2グループ	2.00	8	7.92	198	197.1	
第3グループ	2.00	8	8.00	198	197.0	
第4グループ	1.98	7.9	7.80	196	194.4	
第5グループ	1.97	7.88	7.95	195	187.2	
第6グループ	1.97	9.85*	7.95	197	187.2	*公式を正しく覚えていないと思われる。
第7グループ	2.00	8	7.90	198	196.9	
第8グループ	2.00	8	7.92	198	197.1	
第9グループ	1.96	8	7.90	190	197.5	
第10グループ	2.00	8	7.89	198	195.2	
第11グループ	2.00	8	8.00	198	197.5	
第12グループ	1.90	7.6	7.90	188.1	189.8	

グループの中には、3V端子ではなく+端子との間の抵抗を測定してしまって、誤差が大きくなるものもあったが、多くのグループについては予想した値と近い測定値が得られた。



#### (4) 生徒の感想等（抜粋）

##### <実験そのものに関して>

- 電圧計の回路を実際に見たことがなかったので、回路の観察が楽しかった。
- 電圧計の中身を気にしたことがなかったので、観察できてよかった。
- 誤差が少なくてよかった。

##### <電圧計に関して>

- うまく計算されてるなあと感じた。
- 結構中身が複雑だった。
- もっと複雑な回路だと思っていたが、意外と簡単な回路だった。
- $R_v = (n - 1) r_v$  ってすごい公式ですね。

##### <その他>

- テスターが面白かった。
- 今までより倍率器に愛着をもてました。

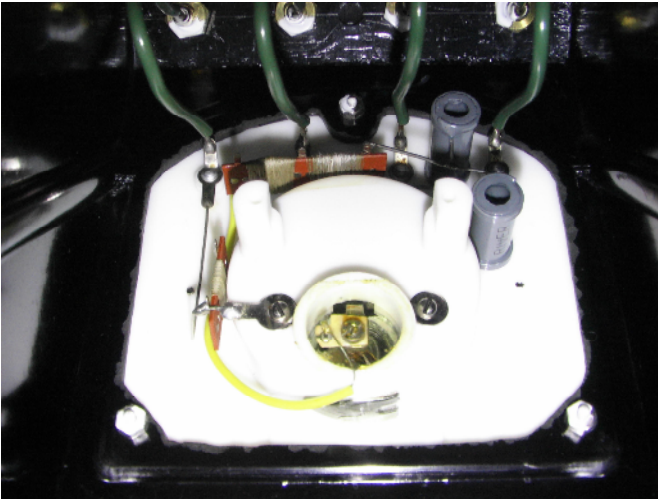
### 5 この事例のポイント

今回の観察実験では、まず、電圧計の構造について観察させた。電圧計は、身近な計測器であるが、多くの生徒にとっては「ブラックボックス」であり、構造や動作原理についてはよく分からないままであろう。本来、計測器は分解などするべきではなく、構造よりも使用法を理解させることが重要ではあるが、電圧計は構造が比較的単純である上に、電流計などよりも内部抵抗が大きいため損壊のリスクが小さいということもあり、あえて分解・観察をさせてみた。生徒の感想にもあるように、教科書で学んだ倍率器の抵抗値が計算どおりになっていることなどが実際に確かめられて、生徒の興味・関心を高めることができた。教科書で学んだ知識を、実物でおさらいすることは大切なことである。

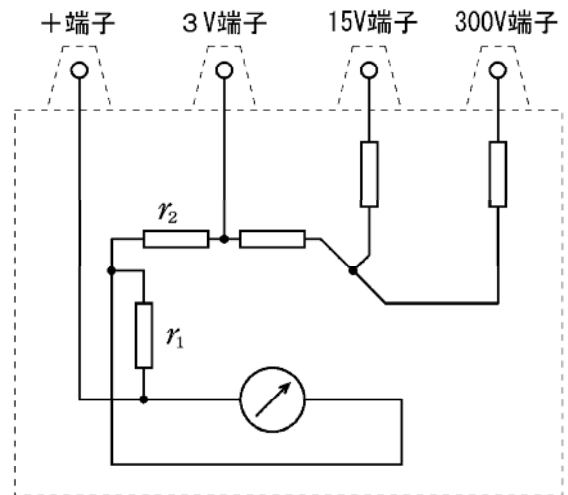
また、回路図を実際に描かせることによって、生徒の観察力・表現力を見たり、手順(2)で得られた内部抵抗の値から、倍率器の抵抗を予想させることによって、生徒の思考力・理解度を見ることができた。

今回の実験では、デジタルテスターを生徒に使わせたが、テスターを使うこと自体に興味を持つ生徒がいた。使用法の指導などが必要になるが、このような機器を生徒に扱わせる機会をつくることも大切である。

## 6 参考 (電圧計の構造とその回路図)



【図4】



【図5】

図4は、電圧計の底面パネルを外して撮った写真であり、図5はその回路図の例である。多くのアナログ式直流電圧計は、以下のような基本的構造をもつ。

- ① 計測部 …… 基本的には電流計や検流計と同じ構造で、磁石・コイル及びゼンマイばね等からなる。一般的に、直流電圧計では可動コイル型が、交流の場合には可動鉄片型が用いられる。

コイルに電流が流れると、磁石との間に力が働いて回転しようとする。一方で、ゼンマイばねがコイルの回転を妨げようとする。これらの力のモーメントがつり合って、静止するときのコイルの回転角は電流の大きさに比例する。このことを利用して、「微小な電流を測る」メーターがこの部分である。電流計や検流計は、電流の大きさそのものを示すように目盛りが振ってあるのに対して、電圧計は標準抵抗に流れる電流を測定し、その両端にかかる電圧の値を示すように目盛りが振られている。

- ② 標準抵抗 …… 図2中の  $r_1$ ,  $r_2$  の部分が標準抵抗に相当する。図4を見ると分かるように、細い導線を巻いて作られている。

前述のとおり、電圧計は標準抵抗に流れる電流を計測し、それから電圧を換算している。しかし、実際には①の計測部自身が内部抵抗をもち、さらに同じ電流に対しても感度に個体差があるため、単純に抵抗器をつけるだけでは誤差が大きくなってしまう。そこで、細い巻線抵抗を用いることによって、抵抗値の微細な調整を可能にしている。標準抵抗として主要な部分は  $r_2$  であり、計測部に対して直列に接続されている。計測部と並列につながっている  $r_1$  は、微調整用の部分で、この部分を調整することによって、計測部の個体差を修正すると同時に、計測部、 $r_1$ 、 $r_2$  を合わせた部分の合成抵抗が規定値（今回実験で用いた電圧計の場合は  $2\text{ k}\Omega$ ）になるようにつくられている。

- ③ 倍率器 …… 電圧計の計測範囲を  $n$  倍にするために、標準抵抗の  $(n-1)$  倍の抵抗が直列に接続されている。これについても、よく見ると固定抵抗器と微調整用の巻線抵抗が使われている。

## 7 実験プリント

(次ページに掲載)

物理 実験プリント (電圧計の分解)

3年 組 番 氏名

---

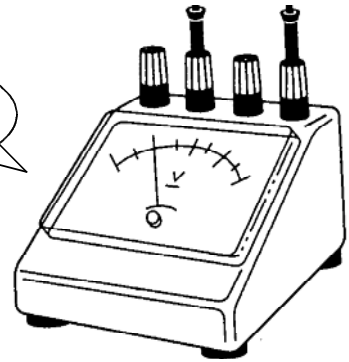
<目的>

実際の電圧計の仕組みを調べて、倍率器の役割を理解する。

<準備>

電圧計, テスター, 小さめのドライバー

電圧計



<参考>

内部抵抗  $r_v$  の電圧計の測定範囲を  $n$  倍に広げる倍率器の抵抗値  $R_v$  は,

$R_v =$

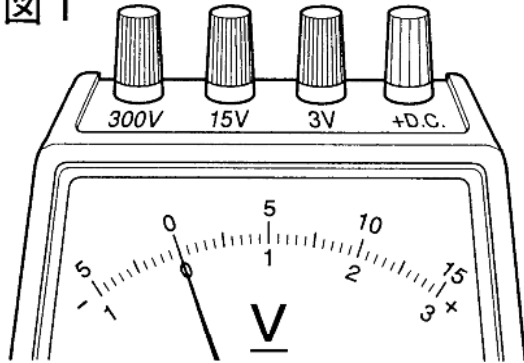
<実験と結果>

手順①: 中身を観察して回路図を描く。必要ならば裏のパネルをドライバーで外してもよい。

<回路図を描こう>

手順②：電圧計の3V端子と+端子間の抵抗を測る。

図 1



$r_v =$

 Ω

この  $r_v$  を電圧計そのものの内部抵抗と考えよう。

手順③：回路図と<参考>を見ながら、3V-15V間および3V-300V間の倍率器がそれぞれ何Ωか予想しよう。そして、実際にテスターでその部分の抵抗値を測ってみよう。

	予想の値 (Ω)	測定した値 (Ω)	誤差 (%)
3V-15V間			
3V-300V間			

$$\text{誤差} = \left| \frac{\text{測定値} - \text{理論値}}{\text{理論値}} \right| \times 100$$

<実験上の注意>

- (7) テスターのリード棒を電圧計の端子に当てる際、ただ当てるのではなく、しっかりと止まるようにしましょう。そうしないと、値が不安定になります。
- (4) 複数回データを取り、信頼のおけるデータをとりましょう。

<考察>

この実験で気付いたこと、感想等を書いてください。

## 事例 2 生徒実験「非直線抵抗の特性」

### 1 ねらい

豆電球などでは、電圧と電流について単純な比例関係が成り立つとは限らないということを、理解させる。

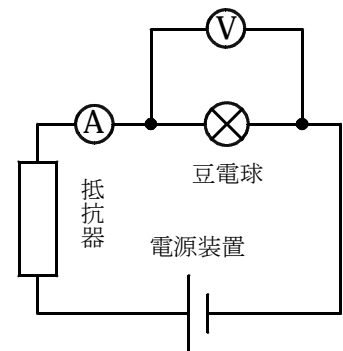
### 2 準備

電流計、電圧計（またはテスター）、直流電源、抵抗器、豆電球、リード線

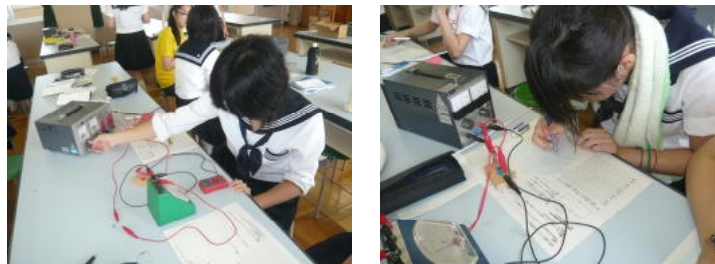
### 3 手順

《実験①》：非直線抵抗（豆電球）の特性曲線を描く。

- (1) 図1の回路図を参考に、回路を組む。このとき、豆電球の許容電圧を確認し、抵抗器は適切な値のものを選択する。
- (2) 豆電球の許容電圧の範囲内で直流電源を操作し、電圧計の値を見ながら、なるべく多くのデータを取る。このとき低電圧（2V程度以下）では0.1V単位で、それ以上では0.5V単位で電圧を変化させる。デジタルテスターを使えないグループでは0.1V単位は難しいので、低電圧域でも0.5V単位程度で構わない。このとき、電圧変化が速すぎると良いデータが得られないので、注意する。
- (3) 横軸を電圧、縦軸を電流として、方眼紙に、グラフ（特性曲線）を描く。



【図1】



【図2 実験の様子】

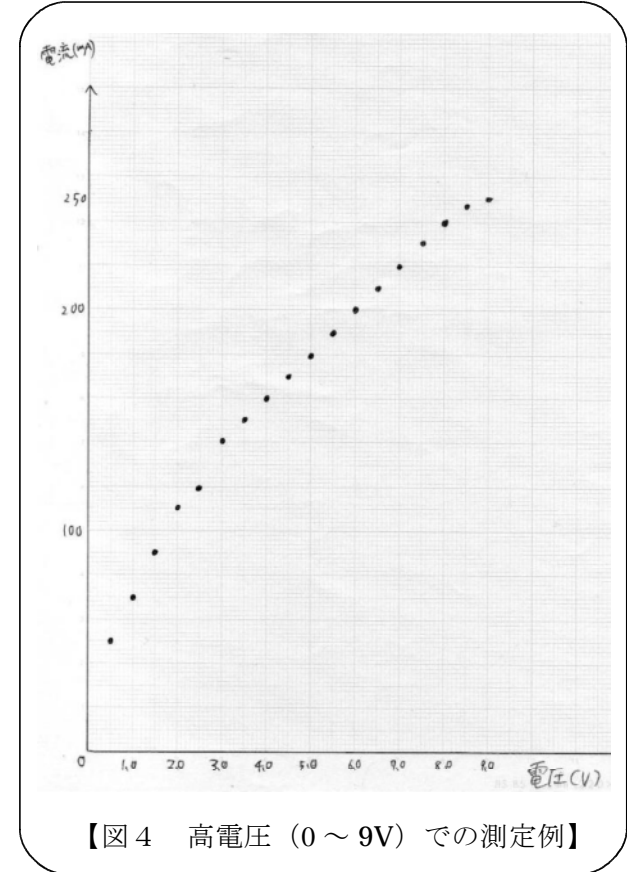
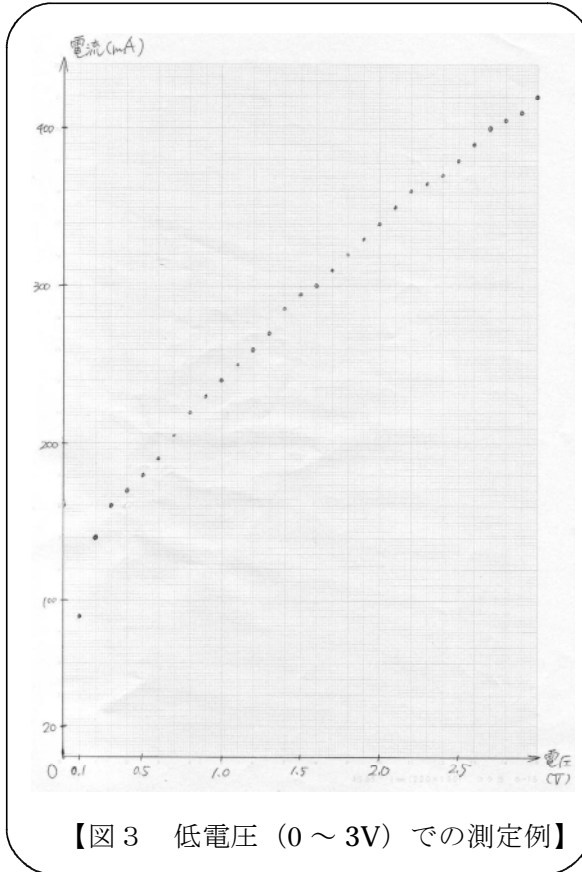
《実験②》：非直線抵抗（豆電球）を含む回路に関する演習問題を作り、実験①で得られた特性曲線を利用して、その問題を解く。また実際にその回路を組み、豆電球に流れる電流を測定し、理論値と実験値を比較する。

- (1) 実験①のものとは異なる回路を自分で考え、その回路図を描く。このとき、回路中の豆電球に流れる電流を求める演習問題を解いてみる。  
※なるべく演習問題として手応えのある回路を考えるよう工夫させる。
- (2) (1)の回路を実際に組んで、豆電球に流れる電流を測定する。次に誤差を計算し、理論値と実験値を比較する。

4 結果 (2人でグループを組み、8つのグループで実験を行った。)

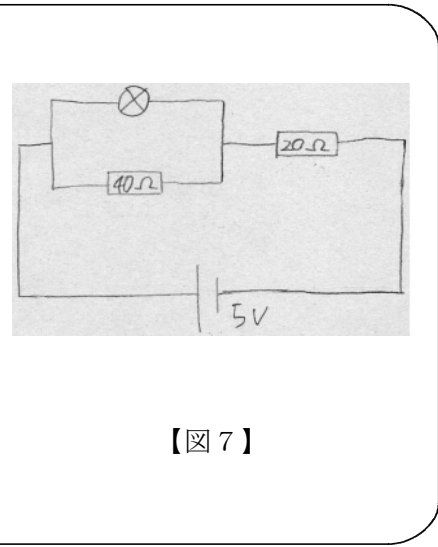
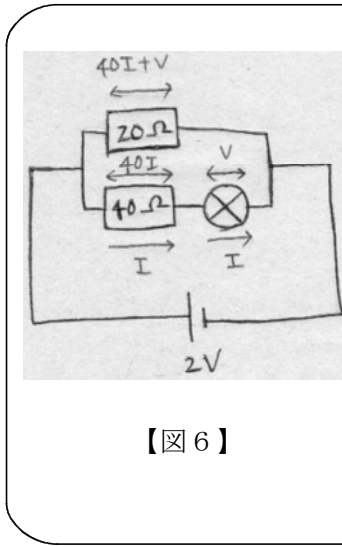
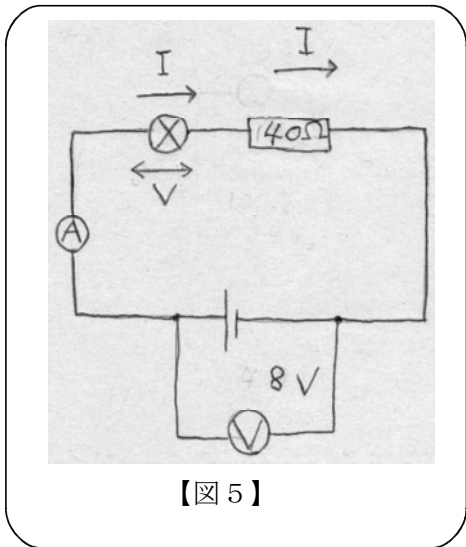
《実験①》

生徒の描いたグラフの例を図3、図4に示す。各グループで使用した抵抗器が異なるため、同じ電圧でも電流の値は同じにならない。グラフから、電流と電圧が比例しないことが分かる。



《実験②》

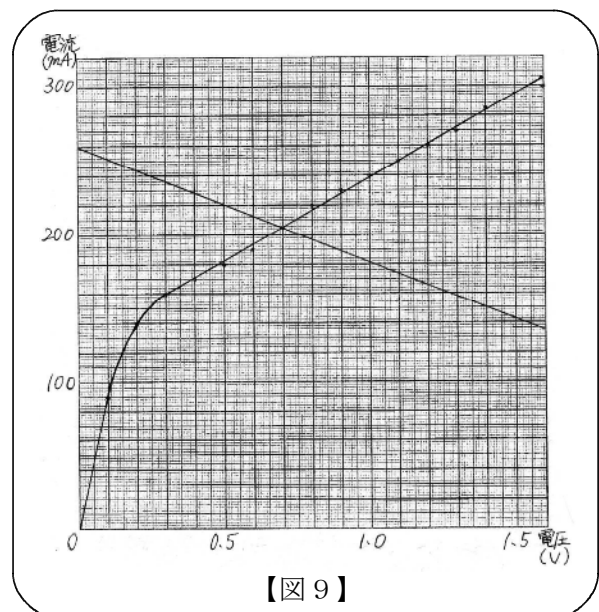
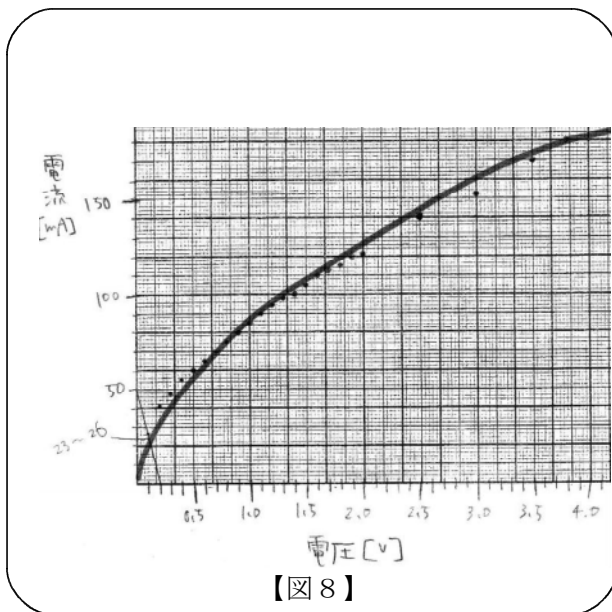
(1) 生徒の考えた回路図例を示す。ほとんどのグループが、図5のような単純な回路であったが、中には図6、図7のように何とか工夫しようとしたグループもあった。



(2) 自分で考えた回路を実際に組んだときの理論値と測定値は、下表のとおりである。プロットした点を、なめらかな曲線のグラフで表すことが大変難しかったようである。しかし、理論値と測定値が思っていた以上に近い値になったグループが多く、生徒の感想からも満足感が高かった様子が分かる。

	理論値 [mA]	測定値 [mA]	備考
第1グループ	205	210	図9
第2グループ	114	125	
第3グループ	200	185	
第4グループ	78	75	
第5グループ	95	95	
第6グループ	191	190	
第7グループ	28	53	
第8グループ	23~26	36	図8

図8、図9に、生徒が理論値を求めたときのグラフを示す。特に図8では、曲線の引き方に雑な部分があり、大きな誤差を生んでしまった。



### (3) 生徒の感想等（抜粋）

#### 《実験①》特性曲線に関して

- ・結構低い電圧から曲がり始めてしまうんだなあと思った。
- ・特性曲線が本当に教科書と同じ形になると実感して感動した。

#### 《実験②》理論値と測定値の比較に関して

- ・自分で計算した値と測定した値が近かったのが嬉しかった。
- ・グラフの描き方で値が変わってしまうのが難しかった。
- ・予想通りにうまくできて感動した。
- ・誤差がひどかった。

#### 《その他》

- ・初めて回路を自分で考えて、それを作って楽しかった。
- ・（直流電源の）電圧の調整が難しかった。
- ・回路を作るのは思った以上に難しかった。

## 5 この事例のポイント

中学校までは、抵抗値が一定で、電流と電圧の間に比例関係が成り立つような場合しか、定量的には扱わない。そのため、電流と電圧が比例しないということは生徒にとっては、にわかには信じ難いことである。そういう意味で、豆電球や白熱電球を用いて、実際に電流電圧特性を調べることは大切である。

今回の事例では、さらに自分たちで演習問題を作り、その解答を実際の回路で確認するというところを行っている。電磁気学の分野に限らず、生徒たちに演習問題を解かせた後で、その解答を実際の実験で再現して確認することは、生徒の興味・関心を高める上で有効である。また、今回のように演習問題を自作にすると更に意欲的になる。

## 6 実験プリント (次ページ)



<目的>

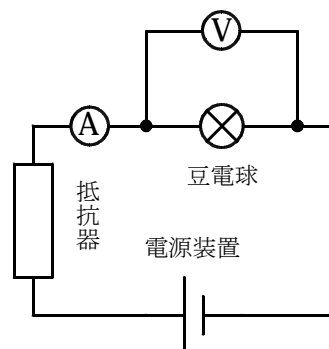
豆電球にかかる電圧と、流れる電流の関係を調べよう。

<準備>

直流電源、電流計、電圧計（またはテスター）、抵抗器、豆電球セット、リード線、方眼紙

<実験> 電流 電圧の特性曲線を求める。

手順1：右図を参考に回路を組もう。



<注意>

- 電気抵抗は、豆電球にかける電圧のことを考えて、適切な値のものを選択すること。すべり抵抗器を使ってもよい。
- 回路は見た目にも美しく、分かりやすい配線になるように注意すること。
- 低電圧のグループは、電圧計の代わりにテスターで測定すること。

手順2：測定開始。豆電球にかけていい電圧、流している電流に注意してなるべく多くのデータを取る。  
必要ならば、抵抗器を変えて、豆電球にかける電圧を工夫すること。

電圧										
電流										

電圧										
電流										

電圧										
電流										

電圧										
電流										

手順3：方眼紙に特性曲線を描こう。

<考察>

1. 電流と電圧は比例していたか。

2. この実験で何か分かったこと、感じたことを書いて下さい。

<目的>

実験①で求めた豆電球の特性曲線を用いて、この豆電球を含む回路の問題を作る。それを解いて、実際に測定して、その答えを確かめる。

<準備>

直流電源、電流計、電圧計（またはテスター）、抵抗器、豆電球セット、リード線、電気抵抗、方眼紙

<実験> 前回の実験結果から、電流 電圧の特性曲線を改めて描いてみる。

手順1：方眼紙にきれいなグラフを描こう。このとき、データをプロット（点を打つ）したら、それらを基になるべくなめらかに曲線を描こう。必ずしも隣りあう点どうしをつなぐ必要はありません。

手順2：適当な抵抗器をつないで、豆電球と抵抗器を含む、なるべく独自性のある回路を考え、回路図に表す。次に、その回路中の豆電球に流れる電流を、手順1で描いたグラフを使って求める。

<考えた回路>

手順3：実際に手順2で考えた回路を組み、豆電球に流れる電流を測定する。

測定結果

<考察>

1. 理論値と測定値を比較して、誤差を計算しよう。

2. この実験で何か分かったこと、感じたことを書いて下さい。

### 事例3 生徒実験「コンデンサーの充電・放電」

#### 1 ねらい

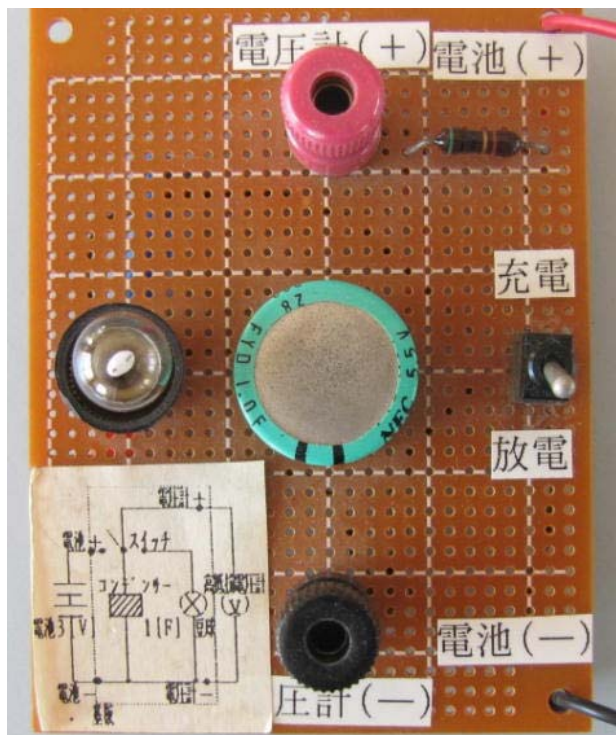
コンデンサーの充電および放電を通じて、コンデンサーのしくみや充放電の様子について理解を深める。

#### 2 準備

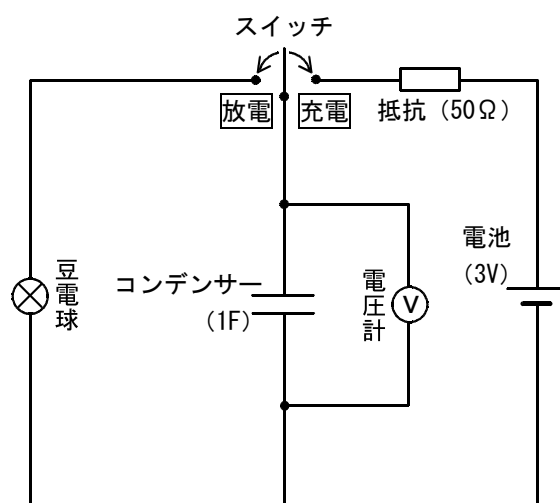
コンデンサーの充電・放電回路（図1を参照）、デジタルテスター、電池（3V）、リード線、ストップウォッチ

#### 3 手順

##### ○実験装置



【図1 コンデンサーの充電・放電回路（写真）】



【図2 回路図】

### 《実験①》コンデンサーの充電曲線を求める。

- (1) 回路のスイッチを「放電」側にし、電池（3V）を付ける。
- (2) テスターのダイヤルを「DCV（直流電圧）」にして、回路中の「電圧計」の端子につなぐ。このとき、テスターが0Vを指すことを確認したら、スイッチを「充電」側へ切り替える。コンデンサーへの充電が始まるので、同時にストップウォッチをスタートさせる。10秒ごとに、テスターの値を測定し、表に記入する。



【図3 実験の様子】

- (3) 充電時には、コンデンサーと抵抗にかかる電圧の合計が3Vになることを考慮して、(2)で作った表から抵抗の両端にかかる電圧・電流を計算する。横軸に経過時間、縦軸にコンデンサーにかかる電圧をとり、グラフ①を描く。また、横軸に経過時間、縦軸に抵抗に流れる電流をとり、グラフ②を描く。
- (4) (3)で作成したグラフ②（I-t図）の面積から、コンデンサーに蓄えられた電荷  $Q$  を見積もり、理論値  $Q_T = CV$  と比較する。
- (5) 最後に「放電」側にスイッチを切り替え、蓄えた電気で豆電球が点くか確かめる。

### 《実験②》コンデンサーの放電曲線を求める。

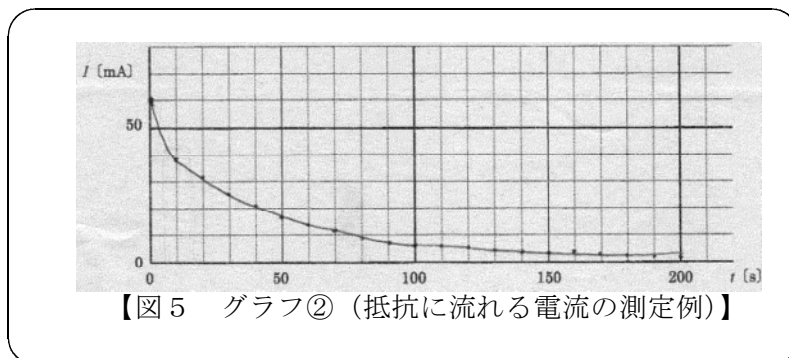
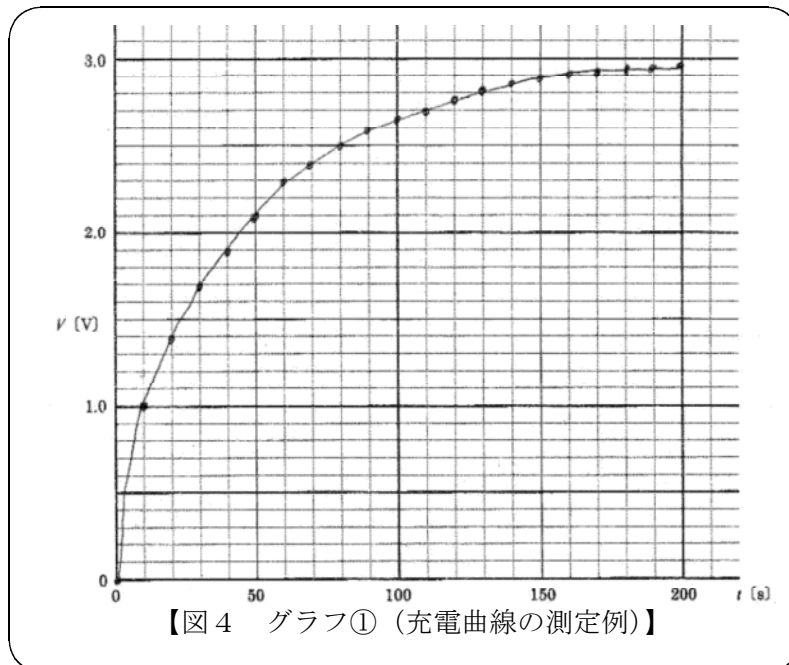
- (1) 放電曲線の予想図を描き、その理由を書く。
- (2) 《実験①》で使った回路を用い、あらかじめ十分な時間（3分以上）をかけてコンデンサーを充電しておく。テスターの値が3V程度で安定したのを確かめてから、回路を「放電」側にして測定を開始する。10秒ごとにテスターの値を表に記入する。その後、横軸に経過時間、縦軸にコンデンサーにかかる電圧をとり、グラフ③を描く。

## 4 結果

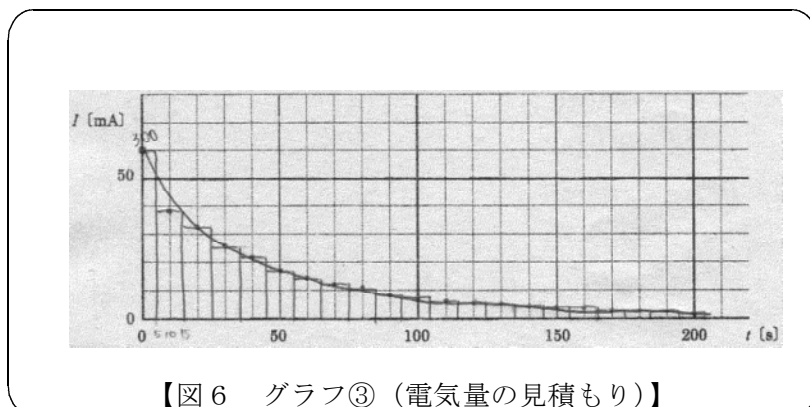
### 《実験①》コンデンサーの充電曲線

#### (1) 充電曲線

生徒の描いたグラフ①の例を図4に、グラフ②の例を図5に、それぞれ示す。なお、グラフ②では、 $t=0$ における値は理論値として計算される60mAをプロットした。



(2) 図6は、グラフ②の結果からコンデンサーに蓄えられた電気量を見積もる方法を示している。グラフを10秒ごとの短冊に区切って、205秒間について短冊の面積の和を計算した。ただし、最初の5秒間だけは、理論値60mA×5秒間=300mCとした。



表①【実験データ】

時刻 (秒)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
電流 (mA)	60	39	32	26	21	18	15	12	11	9	7	7	6	5	4	3	3	2	2	2	1

表②【見積もりデータ】

時刻 (秒)	0 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	45 ~ 55	55 ~ 65	65 ~ 75	75 ~ 85	85 ~ 95	95 ~ 105	105 ~ 115	115 ~ 125	125 ~ 135	135 ~ 145	145 ~ 155	155 ~ 165	165 ~ 175	175 ~ 185	185 ~ 195	195 ~ 205	合計
電気量 (mC)	300	390	320	260	210	180	150	120	110	90	70	70	60	50	40	30	30	20	20	20	10	2550

このようにして22名（10グループ）で、それぞれ電気量を見積もった結果が以下の表である。二つのグループが電池のつなぎ方を間違えてしまい、大きな誤差を生んだ。それ以外のグループは2600mC程度の値になったが、理論値3000mCよりもは小さめの値になってしまった。その原因としては、次のようなことが考えられる。

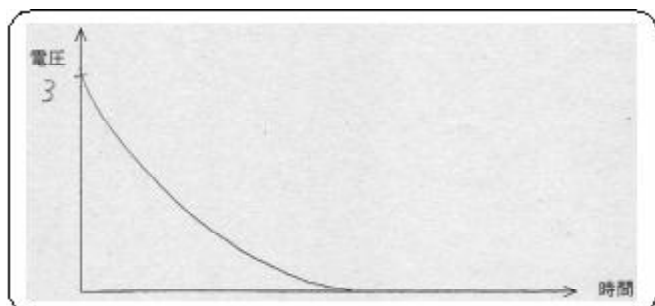
テスターの示す値が時々刻々と変化するため、少しタイミングが遅れるだけでコンデンサーにかかる電圧Vが、実際の値よりも大きめで読まれてしまう。その結果、抵抗にかかる電圧が小さめの値として計算され、電流および電気量も小さめの値になってしまう。

特に、初めの数十秒間に流れる電流が、充電される電気量の値を大きく左右するが、このときのテスターが示す値の変動が大きく、読み取り誤差も大きくなってしまう。誤差を減らすためには、HOLD機能の付いているテスターを使用するとともに、測定タイミングを慎重にすることが重要である。

	見積もり値 [mC]	理論値との誤差(%)	備考
第1グループ	2765	7.8	
第2グループ	2550	15	
第3グループ	2622	12.6	
第4グループ	2684	10.5	
第5グループ	2479	17	
第6グループ	805	?	電池が1.5Vだった。
第7グループ	2639	12.3	
第8グループ	2490	17	
第9グループ	1834	39	
第10グループ	?	?	うまく測定ができなかった。

《実験②》：コンデンサーの放電曲線

(1) 生徒の予想した放電曲線の例から3種類について、グラフと特徴およびその理由を示す。いずれも時間とともに電圧が減少していくという点では共通であるが、その減り方に特徴がある。



【予想① (15人中5人)】

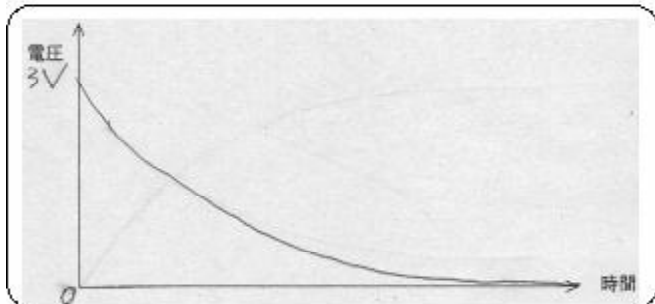
<特徴>

・時間経過とともに電圧が0になる。

<理由>

・一気に電流が流れるから。

・なんとなく



【予想② (15人中5人)】

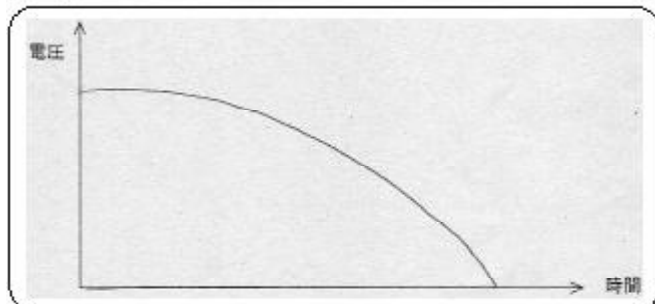
<特徴>

・①と似ているが、電圧が0にならない。

<理由②>

・充電の反対だから。

・充電のグラフと逆な気がする。



【予想③ (15人中3人)】

<特徴>

・電圧がゆっくり減り始める。

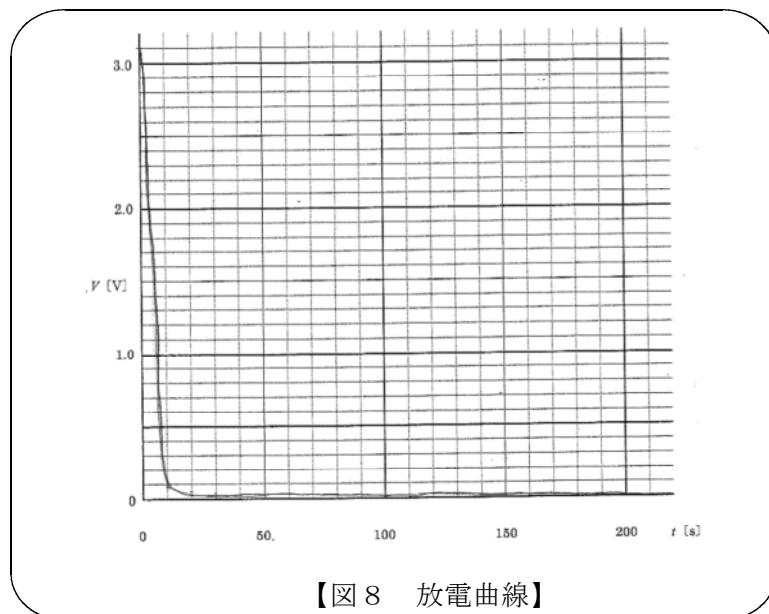
<理由>

・充電曲線と逆っぽいから。

・ゆっくり放電する気がする。

【図7 生徒が予想した放電曲線の例】

(2) 放電曲線のグラフ例を以下に示す。急激に電圧が減少する様子がよくうかがえる。



【図8 放電曲線】

(3) 生徒の感想等（抜粋）

《実験①》コンデンサーの充電曲線

- ・時間がたつにつれて電圧が下がるスピードが遅くなることが分かった。
- ・意外ときれいなグラフができてビックリ。
- ・コンデンサーを間近で見られてうれしかった。
- ・豆電球が光った。コンデンサーはすごい！

《実験②》コンデンサーの放電曲線

- ・充電も放電も初めは変化が大きくてびっくりです。
- ・思ったより急激に減った。

5 この事例のポイント

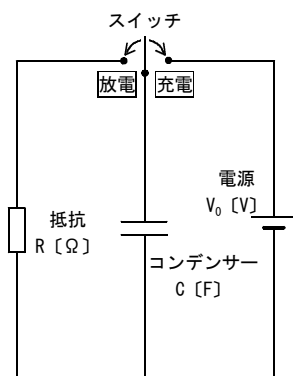
現行の課程では、数学でも微分方程式を扱わないため、充電曲線・放電曲線を理論的に導くのは困難かもしれない。しかし、それだからこそ、定性的な考察によってこれらを予想し、実験で確かめるという手法が生かされる。今回の事例では、充電曲線について調べたことを踏まえて、放電時の電圧変化を予想させ、そう考えた理由を書かせているが、「予想を立てさせた上でその理由を書かせる場面を設ける」ことで、言語活動の充実を図っている。今回の事例研究では、〈理由〉の部分であまり踏み込んだ意見が見られなかった。より踏み込んだ理由を書くよう指導していくことが、今後の課題である。例えば、各瞬間における電圧と、コンデンサーが蓄えている電気量や回路を流れる電流の関係について考察させる場面を設けることや、実際に放電曲線を調べた結果を踏まえて、生徒の予想よりも早い時間で電圧が0Vに近づく理由について考察させることなどが考えられる。

より発展的な学習を望む生徒に対しては、実際に微分方程式を解いて、指数関数のグラフになることを示すことは、理解の深化を図る上で有効であると考えられる。

6 放電曲線について（参考）

図9のようなコンデンサー（C [F]）、電気抵抗（R [Ω]）、電源（V<sub>0</sub> [V]）と切り替えスイッチからなる回路を考える。今、十分な時間をかけてコンデンサーを充電し、コンデンサーの両端にかかる電位差を電源と同じにした後、スイッチを切り替えて放電を開始する。このとき、以下の3つの数式が成り立つ。

- ・コンデンサーにたくわえられる電荷  $Q = C V \dots\dots\dots ①$
- ・抵抗を流れる電流  $I = -\frac{dQ}{dt} \dots\dots ②$
- ・オームの法則  $V = R I \dots\dots\dots ③$



【図9】

①式の両辺を時間で微分して、②、③式を代入すると、

$$-I = C \cdot R \frac{dI}{dt}$$

これを整理すると、

$$-\frac{1}{RC} = \frac{1}{I} \cdot \frac{dI}{dt}$$

したがって、流れる電流 I は、  $I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$  （ただし、 $I_0 = \frac{V_0}{R}$ ）

これと③式より、放電時にコンデンサーの両端にかかる電圧 V の時間変化は、

$$V = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{となることが分かる。}$$

7 実験プリント（次ページ）



<目的>

コンデンサーを含む回路で、コンデンサーが充電される様子を観察し、コンデンサーの原理を確認する。

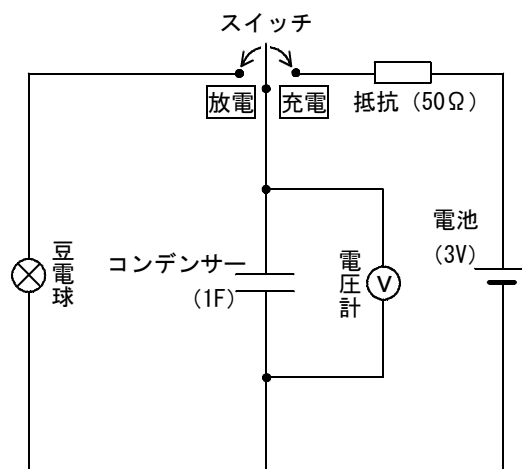
<準備>

デジタルテスター、電池 (3V)、リード線、ストップウォッチ、電卓等

<実験>

手順 1 : 回路の準備

- ① 回路のスイッチを **放電** 側にしておき、電池ボックス (3V) を接続する。
- ② デジタルテスターを「DCV (直流電圧)」にして、回路につなぎ、スイッチを **充電** 側へ！ストップウォッチもスイッチ ON！コンデンサーへの充電が始まります。



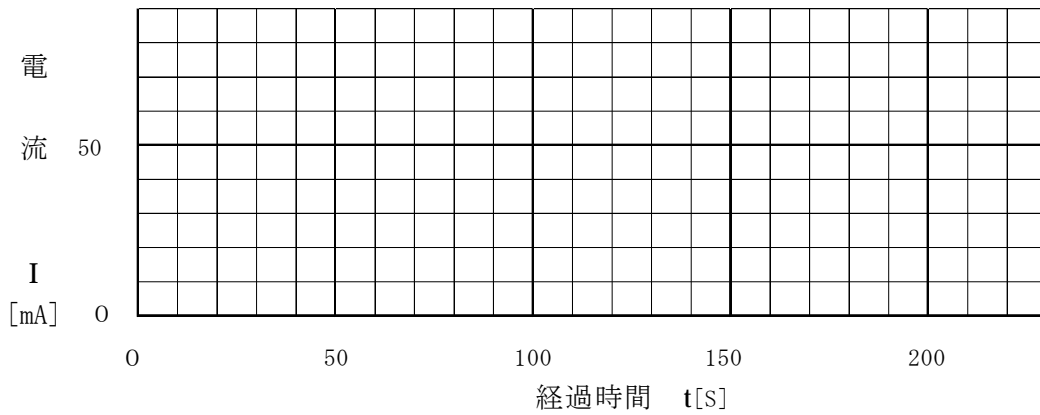
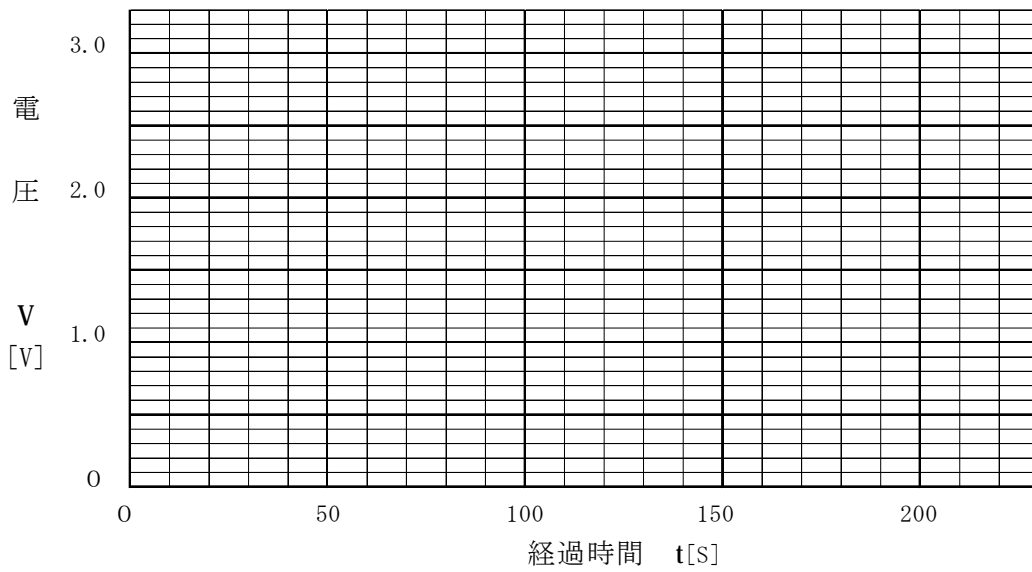
手順 2 : 測定開始

- ③ スイッチを入れてから10秒ごとに、コンデンサーの両端にかかる電圧 (テスターの数値) を測定し、表に記入する。200秒を目安に測定を続ける。
- ④ コンデンサーCと抵抗Rにかかる電圧の合計が電池の3Vになることを考慮すれば、抵抗の両端にかかる電圧、さらには電流を求めることができる。表に記入しよう。

時刻 (秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C 電圧 [mV]										
R 電圧 [mV]										
電 流 [mA]										

時刻 (秒)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C 電圧 [mV]										
R 電圧 [mV]										
電 流 [mA]										

<結果> データ処理:横軸に時間(秒), 縦軸に電圧(上), 電流(下)をとって, グラフを作成する。



<考察とまとめ>

- ① 電流  $I$  と時間  $t$  の関係から電荷  $Q$  を求め, 理論値 ( $Q = CV$ ) と比較してみよう。
  
- ② 誤差を計算し, その理由を考えよう。
  
- ③ コンデンサーの電気容量の大小がグラフに関係するかどうか考えよう。

<目的>

コンデンサーを含む回路で、コンデンサーが放電される様子を観察し、コンデンサーの原理を確認する。

<準備>

デジタルテスター、電池 (3V)、リード線、ストップウォッチ、電卓

<実験>

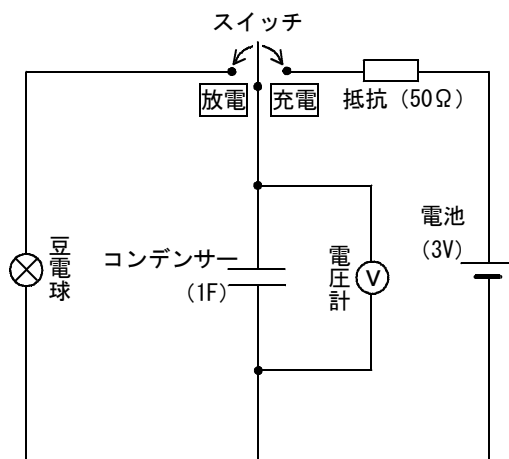
手順0：充電曲線を参考にして、横軸に時間、縦軸に電圧をとり、放電時の電圧と時間の関係を示すグラフがどのような形になるか予測して描いてみよう。なぜそのような形にしたか、理由も書いてみよう。



理由：

手順1：まずは充電

- ① 回路のスイッチを **放電** 側にしておき、電池ボックス (3V) を直列に接続する。
- ② デジタルテスターを「DCV (直流電圧)」にして、回路につきなごスイッチを **充電** 側へ！  
ストップウォッチもスイッチON！コンデンサーへの充電が始まります。
- ③ 3分以上たって、テスターが約3Vで一定の値を示すようになったら充電完了。このときの電圧を表の0秒のところに記入する。



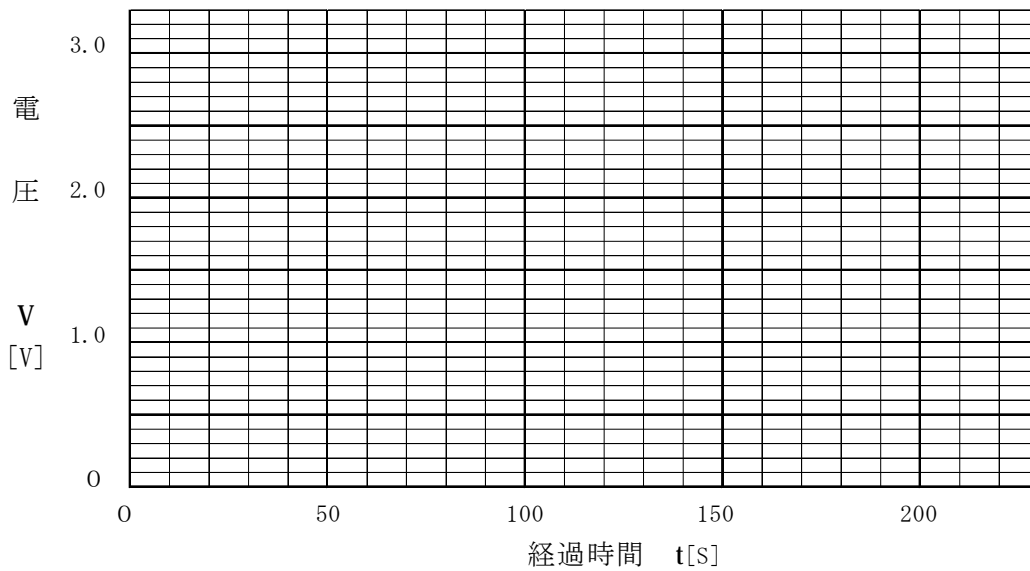
手順 2 : 放電しながら測定開始

- ① 回路のスイッチを「放電」側にしてから10秒ごとに、コンデンサーの両端にかかる電圧（テスターの数値）を測定し、表に記入する。200秒を目安に測定を続ける。

時刻 (秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
電圧 V[V]										

時刻 (秒)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
電圧 V[V]										

<結果> データ処理:横軸に時間 (秒), 縦軸に電圧をとって, グラフを作成する。



<考察とまとめ>

- ① グラフの形がなぜそのようになるのか, 自分の予測と比較して考えてよう。
- ② コンデンサーの電気容量の大小がグラフに関係するかどうか考えよう。

## 事例 4 演 示 実 験 「コ イ ン と ば し」

### 1 ねらい

コンデンサーに蓄えたエネルギーでコインが飛ぶ原理を考え、エネルギーの流れや電磁誘導に関する理解を深める。

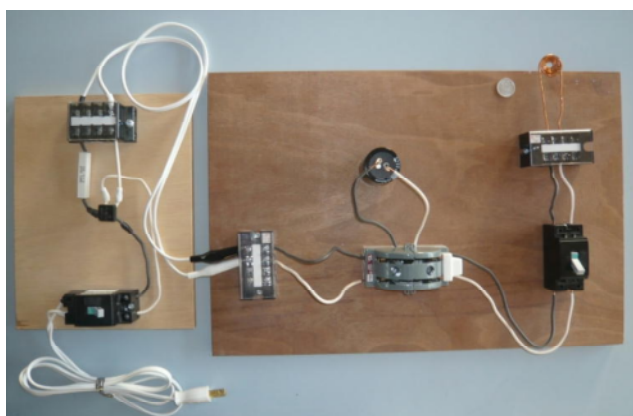
### 2 準 備

コイン飛ばし装置、コイン（1円玉が適当）

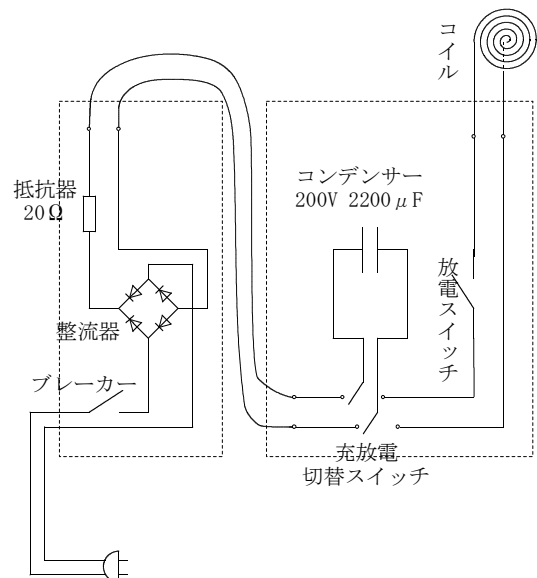
### 3 手 順

#### (1) 実験装置の概要

今回の実験では図1に示したような装置を用いた。装置は2枚の板上に組まれている。まず、ブレーカーを入れて充放電切替スイッチを充電側に入れると、整流器によって直流に変換された電圧がコンデンサーにかかり、コンデンサーは充電される。十分に時間が経過した後、充放電切替スイッチを放電側に入れて、放電スイッチを入れると、コンデンサーに蓄えられた電荷は一気に放電され、コイルには瞬間的に大電流が流れる。このとき、コイルの上に1円玉を置いておくと、1円玉は1m近く飛び上がる。



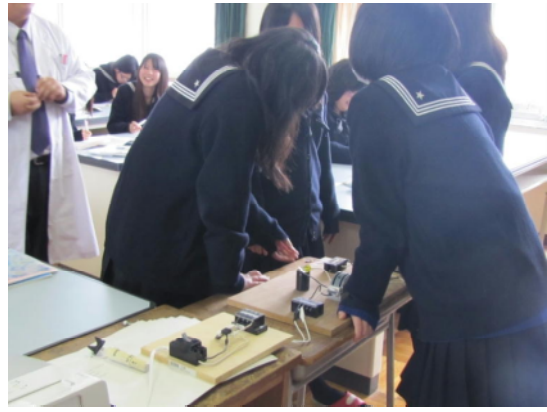
【図1 実験装置（写真）】



【図2 実験装置（回路図）】

#### (2) 実験中の様子

コイル上の1円玉が飛び上がる様子を生徒に何度か観察させ、装置の回路図とコインが飛ぶ原理を考えさせた。また、コイン以外の物体をコイルにのせて実験してみた。

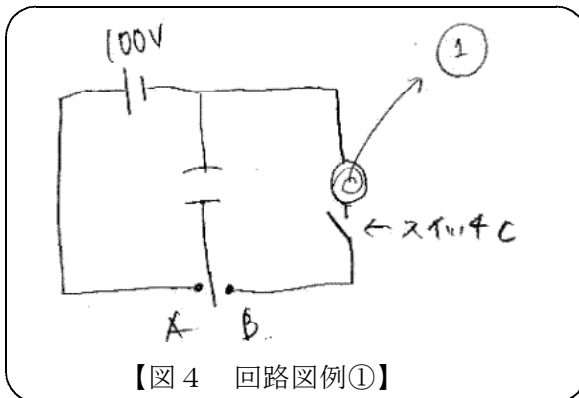


【図3 実験の様子】

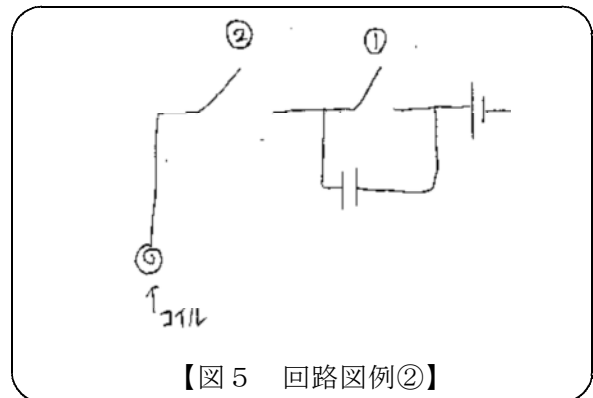
#### 4 結果

##### (1) 生徒が観察して描いた回路図

実験を見せた後、ノートに実験装置の回路図を描かせてみた。ただし、プラグから整流回路までの部分は「100Vの電池」として描いてよいと指示した。8割方の生徒は図4のような回路図を描き、正しく理解できていることが分かった。しかし、中には図5のような誤った認識をもつ生徒もいた。



【図4 回路図例①】



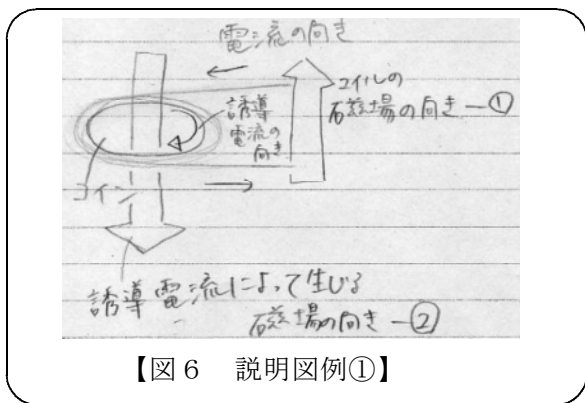
【図5 回路図例②】

##### (2) 生徒の考察結果

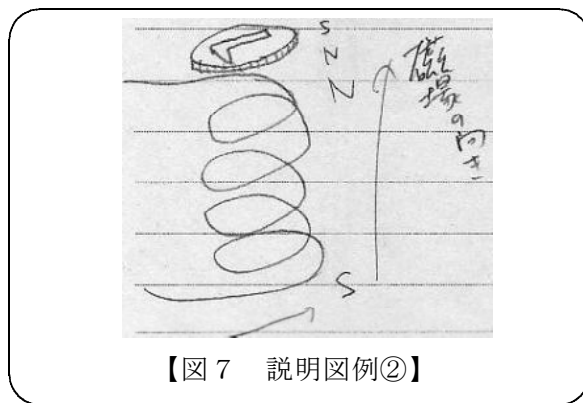
22名中9名が、コイルの飛ぶ原理は電磁誘導であると考えた。そのうち4名はコイルのつくる磁場と、コインに生じる渦電流のつくる磁場の向きが逆向きになることに注目して反発力が生じるということにも気が付いた。

##### (正しい考察の例)

- ・コインに誘導電流が生じ、磁場ができる。このときの磁場の向きと導線に生じていた磁場の向きが逆だから、反発してコインが飛ぶ。
- ・電流が流れると磁界が生じる。電磁誘導でコインを飛ばそう（遠ざけよう）とする上向きの力が増える。



【図6 説明図例①】



【図7 説明図例②】

一方、残りの13名については、まったく理由を説明することができないか、例えば、「コイルに大電流が流れるとき、コイルが振動するからコインがとばされる」などのように電磁誘導以外の原因を考えた。コインをピンポン球に変えて実験を行ったところ、13名中11名については、原因が電磁誘導であることに気が付いた。以下の表に、このときの思考の変化を示す。残りの2名については、ピンポン球の実験を見た後も、考察を書くことができなかった。

	最初の考え	ピンポン球の実験を観察した後の考え
生徒①	大電流が流れるときに振動を起こすため。	磁場ができて、フレミングの左手の法則で上向きに力がはたらく。
生徒②	一気にコイルに電流が流れて、コイルがゆれるから。	磁界が変化して反発する。
生徒③	大電流が流れると導線内の電子が激しく運動して、導線がゆれるから。	コイルからの磁場を打ち消そうとして、コインも磁場を作るため反発する。
生徒④	誘導電流によりコイルが振動するから。	コイルの磁場に反発する磁場で飛ぶ。
生徒⑤	たまった電気エネルギーがコインの運動エネルギーに変化した。	コインに誘導電流が流れて、コイルと反発しあう。
生徒⑥	電流によってエネルギーが運ばれるから。	磁界が変化したから。
生徒⑦	急に電気が流れてコインがびっくりしたから。	(書くことができなかった)
生徒⑧	(書くことができなかった)	電流がくるくる回って流れたから。
生徒⑨	(書くことができなかった)	コインに誘導電流が流れて磁石になり、反発しあって飛ぶ。
生徒⑩	(書くことができなかった)	コイルの中の磁力線が急激に増えるため、レンツの法則によりコインが磁力線の変化を打ち消す向きに動く。
生徒⑪	(書くことができなかった)	コインにはコイルの磁力線を打ち消すような向きに磁力線が生じるので飛ぶ。

(3) 生徒の感想等 (抜粋)

- コンデンサーはすごいなと思いました。
- コンデンサーは奥が深い！
- 今まで何も考えずに「わーすごい」と思っていただけだったけど、こうして自分で考えてみると、実験のことをよく理解できていないことが分かった。今回このように自分で考えたことは価値のあるものになったと思います。
- この実験で少し電気が分かった。

## 5 この事例のポイント

今回の事例では、コンデンサーに蓄えた「電気エネルギー」でコインをとばす実験を見せ、その原理について考えさせた。「電気エネルギーがコインの運動エネルギーに変わった」と言ってしまうえば簡単だが、更に詳しくコインがはねとばされるメカニズムを説明することは、生徒にとってはやや難しかったようである。

しかし、難しかったからこそ学びの場があった。「コイルの振動がコインをはねとばした」という誤った認識をもった生徒に対して、ピンポン球でははねないという実験を見せたことにより「振動ではなく電磁気的な原因がある」という思考の変容が見られた。

このように、やや発展的な内容は、生徒の知的好奇心をくすぐり、特に理解力の優れた生徒に対してはよい刺激になる。一方で、これまでの学習内容が十分に理解できていない生徒などには、逆に苦手意識を助長することにもなりかねず、十分なフォローが必要である。今回の事例では、生徒に考察させた上で、教師側から十分に説明をし、最終的には全員が現象を理解することができた。

ところで、この事例で取り上げた実験では、コンデンサーに蓄えた電荷を一気に放電することが重要である。このとき、コイルには瞬間的に大電流が流れるために、コイン内部に大きな誘導起電力が生じて大きな反発力を生む。（このとき、レンツの法則によって、コイルとコインに働く力が斥力になることも注意したい。）したがって、コイルにはある程度太めの導線が適している。また、コンデンサーにはある程度の高電圧をかけておく必要がある。このような理由から、スイッチ類などの操作には十分に気をつける必要があり、ブレーカーをつけるなど感電・漏電の対策が必要であることに注意したい。

さらに、今回の実験装置を使った発展的な授業例として、整流器を通る前後の波形をオシロスコープで観察すると興味深い。交流だった電圧が、整流器を通ると脈流になること。さらに抵抗器をはさんでコンデンサーをつないだ場合は、直流となることなどを一目瞭然で示すことができる。



## 事例5 演示実験「ロジェの振り子」

### 1 ねらい

ロジェの振り子（跳躍コイル）の現象を見て、その動作原理を考え、導線を流れる電流に働く力への理解を深める。

### 2 準備

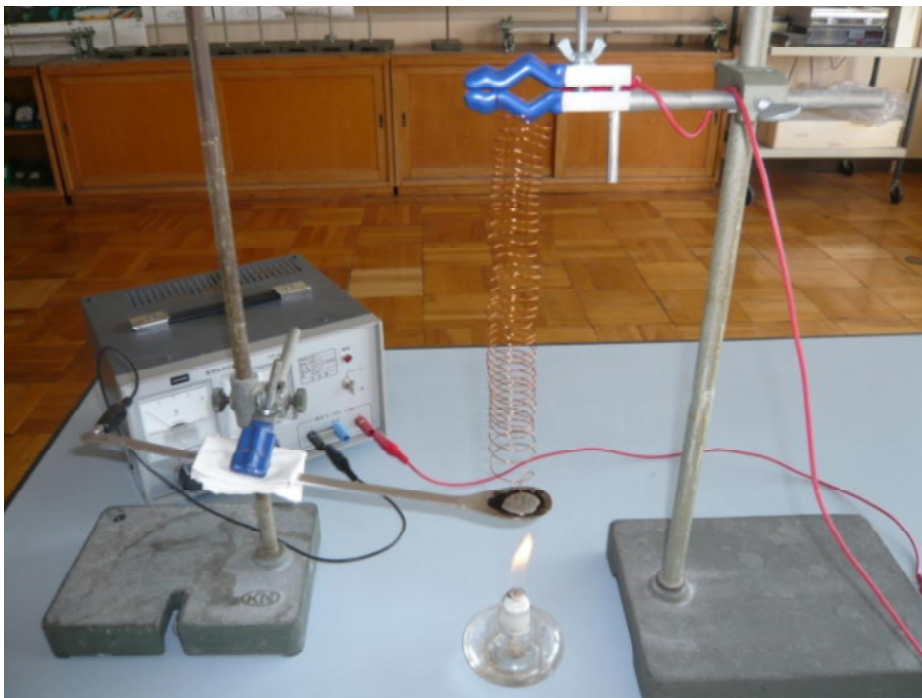
導線（ $\phi 0.75$ ）、金属製のスプーン、スタンド2台、ガスバーナー（またはアルコールランプ）、リード線、直流電源、鉄しんになる金属棒（30cm以上程度）

### 3 手順

#### (1) 導線でコイルを作る。

※何種類か試した結果、手元にあった $\phi 0.75$ のエナメル線が適当であった。コイルの中に鉄芯を入れることを考慮すると、コイル径は $\phi 30$ 程度が適当だと判断し、今回はモップの柄に巻きつけて作成した。1mのエナメル線を巻きつけると、約20cmのコイルになった。

#### (2) コイル上部をスタンドで固定し、コイル上部と金属製薬さじにそれぞれ電極を取り付ける。薬さじに、はんだをのせて、下から加熱してはんだを溶かす。その様子を図1に示す。



【図1 実験装置】

(3) はんだが完全に溶けたら、コイルの先端が溶けたはんだの表面にわずかに接するように調整し、5A程度の電流を流す。コイルの先端が、はんだに完全に浸っていると振動できないので注意する。うまく振動しないときは、鉄芯を入れると大きく振動するようになる。

※ロジェの実験では水銀を用いたが、今回の実験では、はんだを利用した。はんだを溶けた状態に保つため、薬さじを下からアルコールランプ等で、ほどよく熱する必要がある。

(4) 振動する様子を生徒に観察させて、この装置の回路図と振動する原理を考えさせる。

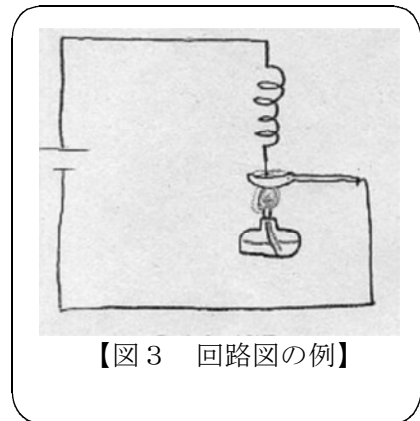


【図2 実験の様子】

#### 4 結果

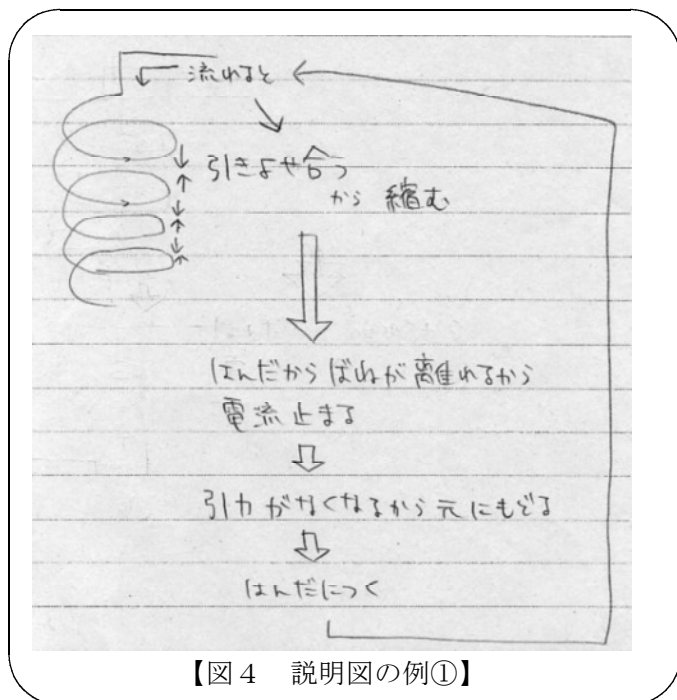
(1) 生徒の描いた回路図

多くの生徒が図3のように回路を正確にとらえていた。

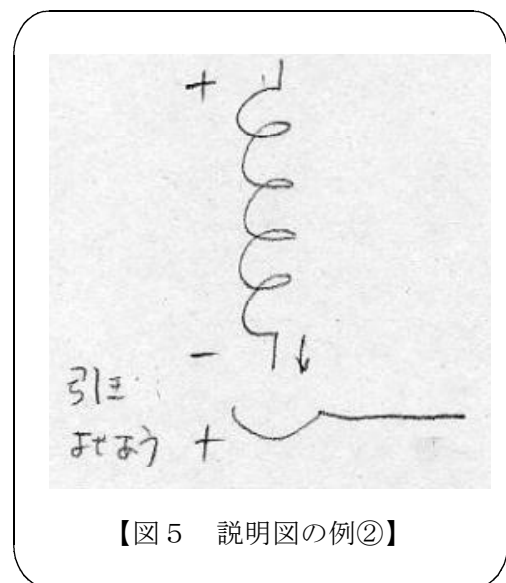


【図3 回路図の例】

(2) コイルが振動する原理



【図4 説明図の例①】



【図5 説明図の例②】

振動の原理を考えるのは難しかった様子なので、「電流にはたらく力を考えよう」と誘導してみたところ、22名中12名が、図4（説明図の例①）のように「同じ向きの平行電流が互いに引き合う」と考えた。それ以外の特徴的な説明としては図5（説明図の例②）のように、静電気力によって引き合うと考えた生徒が2名いた。

(3) 生徒の感想・疑問等（抜粋）

- ・この仕組みはすごいと思ったが、ロジェさんはどうしてこんなことを思いついたのかと思った。
- ・コイルに鉄しんを入れるとコイルを流れる電流が更に強くなる？
- ・鉄しんではなくコイルの巻き数を増やすと同じ現象が起こるのだろうか？

## 5 この事例のポイント

平行電流間に働く力は微小で実際に観察するのは、なかなか難しい。「ロジェの振り子」は、比較的簡単に、これを可能にするものである。何より、実際に、ばね状のコイルが上下に振動する様子は、ただ観察するだけでも興味深い。

今回の研究に当たっては、水銀を使用する代わりに、はんだを溶かして液状にしたものを用いた。水銀は入手しづらいという理由もあるが、生徒に見せることを考えると安全性が一番であると考えたからである。また、コイルに鉄芯を挿入することによって、振動のようすをはっきりと観察できるようにした。

なお、この実験は、以下のサイトを参考にした。

啓林館ユーザーの広場 物理 I 改訂版 第1部の第5節 モーターと発電機：

[http://www.keirinkan.com/kori/kori\\_physics/kori\\_physics\\_1\\_kaitei/contents/ph-1/1-bu/1-1-5.htm](http://www.keirinkan.com/kori/kori_physics/kori_physics_1_kaitei/contents/ph-1/1-bu/1-1-5.htm)

広島県高等学校教育研究会理科部会作成の「理科アイデアカード」をもとに、広島大学の学生が作成したアイデア実験集：

<http://ph1.ed.hiroshima-u.ac.jp/kojima/ideacard/ideacard/ph2-25/ph2-25.htm>

高等学校における教科指導の充実  
理 科 <物理領域>  
生徒の興味・関心を高める授業を目指して  
〔電磁気学〕

発 行 平成23年3月  
栃木県総合教育センター 研究調査部  
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070  
TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303  
URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>